

پدیده انتقال جرم و اندازه گیری غلظت‌های اکسیژن و آهن در راکتور حذف سولفید هیدروژن از گازهای اسیدی

محمدرضا جعفری نصر^۱، عباسعلی رجب پور^۲، مجید تقی زاده^۳

حمیدرضا بختیاری^۱، علی کریمی^۱

۱- پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشگاه گاز

۲- دانشگاه علوم و فنون مازندران، گروه مهندسی شیمی

۳- دانشگاه مازندران، دانشکده فنی مهندسی بابل، گروه مهندسی شیمی

E-mail*: jafarimr@ripi.ir

چکیده

در این تحقیق، پدیده انتقال جرم اکسیژن در محلول کیلات آهن مورد استفاده در راکتور ایر لیفت (Air Lift) به منظور حذف تک مرحله ای سولفید هیدروژن از گازهای اسیدی در مقیاس آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفته است. از گاز اکسیژن جهت احیا کاتالیست مایع و نیتروژن و سولفید هیدروژن جهت تولید نسبت گاز اسیدی مورد نظر استفاده می شود. جهت توزیع گاز در محلول از دو توزیع کننده گاز^۱، یکی مربوط به هوا و دیگری مربوط به گاز اسیدی استفاده می گردد. از آب مقطر، محلول ppm 500 کیلات آهن و محلول دوغابی با غلظت جامد (گوگرد) sulfur/100 ml solution (wt%) 0.08 در محلول کیلات آهن، به عنوان فاز مایع استفاده شده است. آزمایشات در یک راکتور Air Lift از نوع حلقه داخلی^۲ صورت می گیرد. در این میان اثر ارتفاع توزیع کننده از کف راکتور بر میزان پروفایل‌های غلظت اکسیژن و آهن و همچنین اثر نیتروژن بر ضریب انتقال جرم و شار جرمی مورد بررسی قرار می گیرد. آزمایشات نشان می دهد در حالیکه با بالا بردن توزیع کننده ها از کف راکتور، میزان هوای مصرفی جهت عمل احیا، افزایش می یابد ولی باعث کاهش غلظت اکسیژن در ناحیه جذب می شود. همچنین تزریق گاز نیتروژن به عنوان گاز خنثی، باعث افزایش ضریب انتقال جرم و کاهش غلظت اشباع و در نتیجه کاهش شار انتقال جرم می گردد. روابط تجربی که بیانگر تغییرات ضریب انتقال جرم بر حسب سرعت ظاهری گازهای اکسیژن و نیتروژن باشند، ارائه شده است. در این میان منحنی های مربوط به پروفایل‌های غلظت های اکسیژن و آهن حین واکنش نیز ارائه شده است.

واژه های کلیدی: "راکتور ایر لیفت (اتوسیر کولاسیون)"، "بخش بالابر"، "بخش ناودانی"، "توزیع کننده"، "سولفید هیدروژن"

1- Sparger
2 -Internal Loop

مقدمه :

از ابتدای قرن بیستم کارهای تحقیقاتی بسیاری با هدف تبدیل سولفید هیدروژن به گوگرد خالص عنصری توسط یک فرآیند در فاز مایع بر پایه آهن که در آن از یک محلول کمپلکس کیلات آهن استفاده می شد، توسعه داده شده است. در پژوهشگاه صنعت نفت نیز پس از دستیابی به فرمولاسیون محلول کاتالیستی مربوطه [۱]، تصمیم گرفته شد تا تحقیقاتی در رابطه با بکارگیری این فرآیند با استفاده از راکتورهای ایرلیفت که در فرآیندهای فرمانتاسیون و تخمیر الکل ها بکار گرفته می شده، انجام گیرد. مزیت منحصر بفرد این راکتور عدم نیاز به پمپ برای گردش محلول است و به همین دلیل معمولاً آن را به نام راکتور اتوسیرکولاسیون در این فرآیند می شناسند. مدل سازی و طراحی این راکتور نیز قبلاً توسط محققین [۲، ۳] مورد مطالعه قرار گرفته است. کاتالیست کیلات آهن بمنظور حذف سولفید هیدروژن از جریان گازهای اسیدی بکار برده می شود و حذف سولفید هیدروژن از جریان گازهای اسیدی به راحتی و در یک مرحله انجام می دهد.

واکنشهای انجام شده در دو بخش به صورت زیر می باشد:

واکنش اکسیداسیون:

از لحاظ پدیده انتقال جرم، به علت اینکه کاتالیست توسط آب مقطر رقیق می شود در ابتدا مساله انتقال جرم در آب بررسی و سپس در مورد محلول کاتالیستی مورد نظر آزمایش می شود و در نهایت اثر نیتروژن بر این پارامتر مورد بررسی قرار می گیرد. در ابتدا ضریب انتقال جرم حجمی (KLa) برای موارد بالا در حضور اکسیژن محاسبه و در نهایت اثر نیتروژن بر این پارامتر دیده خواهد شد.

آزمایشات :

مطالعات موجود منجر به ارائه رابطه تجربی ضریب انتقال جرم با سرعت ظاهری گاز (هوا) و در تطابق با روابط ارائه شده توسط محققین [۴، ۷] می باشد. همچنین رابطه تجربی که اثر وجود نیتروژن در ضریب انتقال جرم را نشان دهد، ارائه می گردد. در این میان به منحنی های مربوطه نیز اشاره ای خواهد شد.

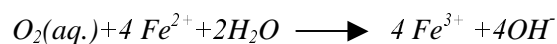
راکتور استفاده شده از نوع ایرلیفت (AirLift) با حلقه داخلی به ابعاد: متر $H_d = 2.9$ و متر $D_r = 0.145$ و نسبت سطح مقطع ناودانی^۳ به بالابر^۴ (A_d/A_r) برابر 0.375 می باشد. دامنه سرعت ظاهری گاز بر مبنای سطح مقطع بالابر در دامنه 0.04 تا 0.25 سانتی متر بر ثانیه می باشد. شکل (۱) نمائی از سیستم آزمایشگاهی سوار شده می باشد که ابعاد آن به صورت زیر است:

قطر بالابر برابر $14/5$ ، قطر ناودانی $17/5$ و ارتفاع راکتور، برابر 290 و 290 سانتی متری می باشد که جهت مطالعات انتقال جرم از راکتور 200 لیتری و جهت مطالعات پروفایل غلظت از 290 لیتری استفاده می شود. جهت نمونه گیری از محلول، محلهایی در بدنه راکتور تعبیه شده بطوریکه این نمونه ها در یک ظرف نمونه گیر جمع می شود. با توجه به این محل ها می توان توزیع کننده ها را به گونه ای قرار داد که از نواحی جذب و بازیابی نمونه هائی را نیز داشته باشیم.

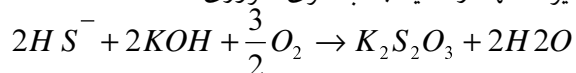
واکنشهای انجام شده در دو بخش به صورت زیر می باشد:



واکنشهای احیا :



در اینجا به هر دلیلی اکسیژن وارد ناحیه جذب گردد بر طبق واکنش زیر باعث تولید محصول جانبی (نمک ها) می گردد. از این رو کنترل میزان اکسیژن و به حداقل رساندن میزان آنها در ناحیه جذب امری ضروری است.



برای این منظور نقش ارتفاع و فاصله توزیع کننده ها از کف راکتور، مهم می باشد بطوریکه این موضوع در زمان ته نشینی گوگرد تولیدی در کف راکتور موثر است.

3 -Downcomer

4 -Riser

مدت زمان ۲ دقیقه جهت خارج شدن تمام نیتروژن از سیستم لازم است و بعد از این زمان به سیستم هوا تزریق می شود.

[۶،۴]

مبانی تئوریک :

از یک موازنه جرم داریم :

$$\frac{dC}{dt} = K_L a (C^* - C) \quad (1)$$

که C^* مقداری از C است که بعد از گذشت زمان به حالت پایدار می رسد .

با انتگرال گیری از رابطه (۱) داریم :

$$\ln(C^* - C) = -K_L a t + C \quad (2)$$

با جایگذاری شرایط مرزی و اولیه : $C = C_{L0}$ & $t = 0$ → $C = C_L$ → $t = t$ مرتب کردن معادله (۲) داریم .

$$\ln\left(\frac{C^* - C_L}{C^* - C_{L0}}\right) = K_L a t \quad (3)$$

حال اگر سرعت رسیدن به تعادل (E) را نسبت به انتقال جرم لحظه ای به میزان حداکثر انتقال جرم در نظر بگیریم، داریم :

$$E = \frac{C_L - C_{L0}}{C^* - C_{L0}} \quad (4)$$

با جایگذاری معادله ۳ در ۴ خواهیم داشت :

$$\ln(1-E) = -K_L a t \quad (5)$$

حال با رسم منحنی $\ln\frac{1}{1-E}$ بر حسب زمان ضریب انتقال جرم ($K_L a$) محاسبه خواهد شد . شیب این منحنی بیانگر ضریب انتقال جرم ($K_L a$) می باشد .

منحنی (۱) نمونه ای از تغییرات E تعادلی با زمان را نشان می دهد . جهت رسم منحنی $\ln\frac{1}{1-E}$ بر حسب زمان، تا جایی پیش میرویم که تغییرات غلظت در آن زمان به ماکزیمم حالت پایدار^۷ خود برسد. حال با افزایش میزان دبی هوا، این زمان کاهش می یابد . این منحنی شبیه منحنی های ارائه شده توسط محققین دیگر می باشد [۴،۵].

مطابق نتایج دیگر محققین [۵] محل قرار گرفتن الکتروود اکسیژن در داخل ناودانی یا بالابرچنان تاثیری بر زمان رسیدن به تعادل ندارد این رو در راکتور ایرلیفت مورد نظر،

در اثر تزریق گاز درون بالابر به علت اختلاف دانسیته ایجاد شده بین مایع درون بالابرو مایع درون ناودانی، مایع به صورت اتوماتیک بین این دو ناحیه به چرخش در می آید. جهت بررسی اثر ارتفاع توزیع کننده در داخل بالابر، در ابتدا آزمایشاتی اولیه جهت تعیین فاصله دو توزیع کننده از هم (ناحیه جذب)، انجام گرفت بطوریکه نهایتاً این فاصله پس از این آزمایشات برابر ۸۰ سانتی متر تعیین گردید. حال هر دو توزیع کننده را در پنج موقعیت در فواصل ۵ و ۳۰ و ۶۰ و ۱۲۰ و ۱۵۰ سانتی متری از کف راکتور قرار می دهیم. تمام نمونه ها را در یک ظرف جمع نموده و توسط یک الکتروود^۸ از محل های مختلف به صورت مستقیم^۱ نمونه گیری می گردد.

جهت بررسی انتقال جرم الکتروود اکسیژن را در فاصله ۱۸۰ سانتی متری از کف راکتور قرا می گیرد. دما و فشار در حین آزمایش ثابت فرض می شود (دمای کنترلی در حدود $26 \pm 1^\circ C$) و همچنین فشار اتمسفریک در نظر گرفته می شود. هوا توسط کمپرسور تامین و نیتروژن و سولفید نیتروژن توسط کپسول به سیستم تزریق می گردد. قبل از انجام آزمایشات، لازم است تا دستگاه اکسیژن متر کالیبره گردد .

جهت محاسبه ضریب انتقال جرم حجمی ($K_L a$) به سیستم سو لفید هیدروژن تزریق نمی گردد چون در حین واکنش اکسیژن جهت عمل احیا مصرف می شود. برای محاسبه $K_L a$ آزمایشگاهی، نیاز به جریان سازی سیال از اکسیژن قبل از شروع آزمایشات توسط نیتروژن ضروری می باشد. از این رو گاز نیتروژن که توسط توزیع کننده اول به سیستم تزریق می شود باعث تهی شدن سیال از اکسیژن می گردد. در حین آزمایش غلظت اکسیژن در صورت عدم حضور سو لفید نیتروژن در طول راکتور با زمان افزایش می یابد . زمان ثبت نتایج در ۱۰ دقیقه اول آزمایشات مورد ملاحظه می باشد. بعد از جریان سازی اکسیژن در محلول ،

$$K_{La} = \left[1 + \frac{Ad}{Ar} \right]^{-1} (\alpha - \beta Cs) U_G^{\lambda} \quad (7)$$

در اینجا Cs غلظت وزنی گوگرد در محلول دوغابی می باشد.

حال با توجه به اینکه در آزمایشات نسبت Ad/Ar عدد ثابتی است و نیز غلظت گوگرد در محلول ۸ درصد وزنی می باشد از این رو با استفاده از داده های آزمایشگاهی و بهره جستن از نرم افزار **Table curve** می توان معادله را به فرم کلی $K_{La} = \alpha U_G^{\beta}$ از میان اطلاعات تجربی مرور داده و ضرایب α و β را بدست آورد. نتایج حاصله در این تحقیق در جدول (۳) ارائه شده است. این اطلاعات مربوط به حالتی است که هوا توسط توزیع کننده به درون سیستم تزریق می شود.

با توجه به جداول ۲ و ۳ مشاهده می شود که در مورد آب مقطر توان بدست آمده از آزمایشات در محدوده رابطه تجربی ارائه شده توسط این محققین میباشد. تنها تفاوت در ضریب این روابط است که علت آن به اختلاف ابعاد هندسی راکتور مربوط باشد. تفاوت در توان و ضرایب روابط تجربی ارائه شده و قتیکه از محلول کیلات آهن و محلول دوغابی با روابط این محققین نیز به نوع محلول و حلالیت اکسیژن در محلول و همچنین اختلاف ابعاد هندسی راکتور بر می گردد.

بحث :

در این جا، به اثر نوع سیال و وجود گاز نیتروژن جهت تولید گاز اسیدی که در حین آزمایش به سیستم تزریق می شود، می پردازیم. همچنین در حین واکنش اثر ارتفاع توزیع توزیع کننده ها در داخل بالابر بر میزان هوای مصرفی جهت احیا کاتالیست و نیز تغییرات میلی ولت در طول راکتور می پردازیم. با توجه به اینکه حلالیت اکسیژن در محلول کیلات آهن نسبت به آب مقطر کاهش می یابد [۹]، از این رو تغییرات غلظت در طول زمان نیز کاهش خواهد یافت. همانطور که در منحنی شکل ۳ مشاهده می شود با تغییر نوع سیال از آب مقطر به محلول کیلات آهن، منحنی تغییرات

از یک الکتروود اکسیژن و آن هم با نصب در داخل بالابر، استفاده می شود.

همچنین نمونه ای از گراف $Ln \frac{1}{1-E}$ بر حسب زمان در منحنی ۲ ارائه شده است که شیب این با بیانگر ضریب انتقال جرم می باشد. این منحنی نیز با منحنی های مشابه ارائه شده توسط محققین ذکر شده تطابق دارد.

فرضیات موجود در این آزمایشات عبارتند از :

- ۱- فاز مایع کاملاً مخلوط می شود.
- ۲- سیال با توجه به دامنه U_G در محدوده جریان جابی^۱ قرار داشته باشد.
- ۳- تغییرات میزان اکسیژن محلول به الکتروود اکسیژن حساس باشد.

به علت تابعیت ضریب انتقال جرم به خواص محلول نظیر دانسیته، نفوذ پذیری و ویسکوزیته و همچنین شرایط عملیاتی (دما و فشار) و ابعاد هندسی راکتور، نیاز به دانستن خواص فیزیکی سیال امری ضروری است [۹]. از اینرو خواص فیزیکی سیال در دمای $26 \pm 1^\circ C$ و فشار اتمسفریک در جدول ۱ ارائه شده است.

روابط تجربی :

اساس معادلات بکار گرفته شده بر مبنای روابط تجربی ارائه شده توسط M. Y. Chisti, R. A. Bello [۴، ۱۰] در این زمینه می باشد. این محققین K_{La} را بر حسب سرعت ظاهری گاز پس از حل معادلات مربوطه به فرم کلی زیر ارائه نمودند که بسته به نوع محلول و شرایط عملیاتی و هندسی، ضرایب α و β و λ تغییر می کند که برای محلول مورد نظر این محققین، این روابط تجربی در جدول ۲ آمده است.

$$K_{La} = \alpha \left[1 + \frac{Ad}{Ar} \right]^{-2} U_G^{\beta} \quad (6)$$

و برای محلول دوغابی به فرم زیر ارائه شد:

غلظت اکسیژن با زمان در محلول، پایین تر از آب مقطر قرار می گیرد. همچنین در منحنی شکل ۳ مشاهده می شود که غلظت تعادلی در حالت پایدار نیز در محلول کیلات آهن نسبت به آب مقطر کاهش می یابد.

حال با تزریق نیتروژن در حضور هوا، این تغییرات در غلظت محسوس ترمی شود و با افزایش میزان دبی نیتروژن کاهش این دامنه شدیدتر خواهد شد و در نتیجه C تعادلی نیز کاهش می یابد. این مطالب در منحنی شکل ۴ به وضوح آشکار می شود. علت این امر را می توان در کاهش درصد مولی اکسیژن در مخلوط اکسیژن و نیتروژن در محلول دانست و نیز خاصیت تهی کنندگی گاز نیتروژن دانست.

حال با توجه به مطالب گفته شده، منحنی لگاریتمی ضریب انتقال جرم بر حسب سرعت ظاهری گاز (هوا) برای هر سه مورد سیال در منحنی شکل ۵ ارائه شده است. همانطور که در قبل اشاره شد تغییر نوع سیال و ویسکوزیته و خواص سیال باعث تغییر $K_{L,a}$ خواهد شد، ولی در این مورد چون غلظت محلول کیلات آهن پائین و نیز مواد جامد موجود نیز کم می باشد این تغییر چندان محسوس نما باشد ولی در هر صورت میزان $K_{L,a}$ کاهش می یابد. این منحنی شبیه منحنی های ارائه شده در مقالات می باشد [۴].

در حین واکنش به علت مصرف اکسیژن در سیستم، نمی توان در مورد ضریب انتقال جرم نظر روشنی داد ولی با توجه به مطالبی که ارائه شده می توان در طول راکتور تغییرات اکسیژن و غلظت آهن را توسط دستگاههای اکسیژن متر و میلی ولت سنج به طرز تجربی اندازه گیری و دنبال کرد. با توجه به آزمایشات اولیه، بهترین ناحیه جذب در این حالت ۸۰ سانتی متر می باشد. از اینرو با ثابت نگه داشتن این فاصله موقعیت هر دو توزیع کننده در داخل بالا بر را تغییر می دهیم. در دو حالت مختلف، یکی در فاصله ۵ سانتی متری و دیگری در فاصله ۱۲۰ سانتی متری از کف راکتور، این آزمایشات مورد بررسی قرار می گیرد. در اثر افزایش ارتفاع توزیع کننده ها در داخل بالابر، میزان هوای مصرفی افزایش می یابد. علت این امر را می توان در زمان

ماندگی حباب اکسیژن در داخل مایع در بالابر دانست و این امر باعث افزایش میزان هوای مصرفی جهت عمل احیا کاتالیست می شود که خود باعث منفی تر شدن میلی ولت کنترلی می شود.

از معایب این امر میتوان به افزایش میزان هوای مصرفی جهت احیا کاتالیست و در نتیجه افزایش هزینه های انرژی می شود که البته با اعمال فشار در سیستم می توان این میزان را کاهش داد ولی در مقابل با بالا بردن توزیع کننده ها، فرصت ته نشینی گوگرد تولیدی که در حین واکنش در محلول کاتالیستی تولید می شود، اشاره نمود که با توجه به فیلتراسیون مداوم از غلظت گوگرد در محلول کاسته و انتقال جرم بیشتری صورت می گیرد. همچنین این امر باعث کاهش میزان اکسیژن محلول در ناحیه جذب پس از یک دور چرخش کامل می شود که خود مانع تولید محصولات جانبی در سیستم می گردد.

در حالت اولیه که توزیع کننده ها در فاصله ۵ سانتی متری از کف راکتور قرار دارند، تغییرات اکسیژن با نسبت $\frac{Air}{H_2S} = 111$ در طول راکتور بدین گونه است که در ناحیه جذب کمترین میزان اکسیژن، و در ناحیه احیا و ابتدای توزیع کننده هوا، بیشترین مقدار خود را دارا است که در طول راکتور با توجه به مصرف اکسیژن، این مقدار کاهش می یابد. از بعد پروفایل غلظت آهن، روند خوبی در طول راکتور مشاهده نمی گردد. به عبارت دیگر تا انتهای بالابر عمل احیا خوب صورت می گیرد ولی در برگشت مایع از بالابر به ناودانی این عمل به خوبی صورت نمی گیرد. این موضوع در منحنی شکل ۷ به وضوح آشکار است. با بالا بردن توزیع کننده ها از کف راکتور، روند احیا کاتالیست بهتر می شود و این امر در مثبت تر شدن میلی ولت اثر می گذارد. همچنین میزان اکسیژن محلول در ناحیه جذب نیز در این حالت خیلی کم می باشد و این از احتمال تشکیل محصولات جانبی می کاهد. تنها تفاوت در میزان هوای مصرفی می باشد که در حالت دوم این میزان ۲۰۰ برابر می باشد. این مطلب در منحنی شکل ۸ آمده است.

اثر وجود نیتروژن :

نیازبرنامه کامپیوتری، رابطه ای که بتواند ضریب انتقال جرم را بر حسب سرعتهای ظاهری گازهای نیتروژن و هوا بیان کند ضروری به نظر می رسد. از این رو با به کارگیری نرم افزار **Table Curve** در فضای سه بعدی می توان به این مقصود رسید. اطلاعات بدست آمده برای هر سه مورد سیال در جدول ۴ ارائه شده است.

نتیجه :

همانطوریکه مشاهده شد، در اثر تغییر نوع سیال از آب مقطر به محلول کیلات آهن، میزان حلالیت کاهش می یابد. با تزریق نیتروژن به سیستم میزان K_{La} افزایش، ولی میزان شارانتقال جرم در واحد حجم کاهش می یابد. در نهایت منجر به ارائه رابطه تجربی ارائه شد که ضریب انتقال جرم را به سرعتهای ظاهری گازهای نیتروژن و هوا ربط می دهد. همچنین ملاحظه شد که در اثر افزایش ارتفاع توزیع کنندوها از کف راکتور، میزان هوای مصرفی افزایش می یابد و با توجه به تولید گوگرد و دوغابی شدن محلول، زمان ته نشینی گوگرد در کف راکتور بیشتر و در نتیجه روند انتقال جرم اکسیژن در محلول بیشتر می شود. کاربرد این بررسی اثر اهمیت وجود دو توزیع کننده در راکتورهای ایرلیفت جهت حذف تک مرحله ای سولفید هیدروژن از گازهای اسیدی بر میزان ضریب انتقال جرم و نیز اثر ارتفاع توزیع کننده ها در طول راکتور مشخص می نماید.

قدر دانی و تشکر:

بدینوسیله از کلیه همکاران و محققان پژوهشگاه گاز- پژوهشگاه صنعت نفت که این فرصت را در اختیار قرار دادند تا مطالعات فوق انجام گیرد قدر دانی می گردد.

با تزریق نیتروژن به سیستم به علت تغییر شرایط توربولانسی و افزایش سرعت چرخش مایع میزان K_{La} افزایش خواهد یافت. این مطالب در هر سه نوع سیال، مشاهده می شود. منحنی شکل ۶ بیانگر این موضوع در محلول کیلات آهن با غلظت 500 ppm می باشد. منحنی های مربوط به آب مقطر و محلول دوغابی نیز شبیه این منحنی می باشد و این افزایش در آنها نیز مشاهده می شود.

همانطور که اشاره شد با تزریق نیتروژن به سیستم غلظت تعادلی (C^*) کاهش می یابد و با توجه به اینکه شار انتقال جرم در واحد حجم (N_A) بر طبق رابطه (۸) تابعی از غلظت تعادلی سیستم می باشد، از این رو میزان شدت انتقال جرم در واحد حجم کاهش می یابد.

$$N_A = K_{La}(C^* - C) \quad (8)$$

حال در هر U_G یک میزان K_{La} وجود دارد که با جایگزاری در معادله (۸) می توان میزان شار انتقال جرمی را محاسبه نمود که در نهایت منحنی شارانتقال جرم بر حسب سرعت ظاهری گاز در حضور نیتروژن و در غیاب نیتروژن در یک منحنی با هم مقایسه می شود. این مطالب را می توان در منحنی شکل ۹ برای محلول کیلات آهن مشاهده نمود. با توجه به این شکل مشاهده می شود که تغییرات شار بر حسب سرعت ظاهری گاز در حضور نیتروژن پائین تر از منحنی تغییرات شار بر حسب سرعت ظاهری گاز در غیاب نیتروژن می باشد. این مطلب برای آب مقطر و محلول دوغابی نیز عیناً تکرار می شود.

بر طبق آنچه گفته شد، اثر نیتروژن باعث افزایش K_{La} و کاهش غلظت تعادلی می شود و اثر غلظت تعادلی بر میزان افزایش K_{La} غلبه کرده و در نهایت شارانتقال جرم در واحد حجم کاهش خواهد یافت. در این مقاله با توجه به

فهرست علائم و نشانه ها

| | |
|--|---|
| $K_L a$: ضریب حجمی انتقال جرم، s^{-1} | A_d : سطح مقطع نلجیه ناودانی، cm^2 |
| N_A : شدت انتقال جرم، $mol.m^{-3}.s^{-1}$ | A_f : سطح مقطع نلجیه بالا بر، cm^2 |
| ppm: واحد غلظت (یک بخش بر میلیون) | a : سطح ویژه، cm^3/cm^2 , or cm^{-1} |
| T: دما، درجه سانتی گراد | C: غلظت اکسیژن محلول، mg/lit |
| t: زمان، ثانیه | C*: غلظت اکسیژن محلول در حالت اشباع، mg/lit |
| TDS: غلظت نمک های محلول، gr/lit | c: عدد ثابت |
| U_G : سرعت ظاهری گاز در بالا بر، $cm.s^{-1}$ | C_{L0} : غلظت اکسیژن محلول در شرایط اولیه، mg/lit |
| X: فاصله توزیع کننده از کف راکتور، cm | D: قطر ستون (راکتور)، cm |
| | D_L : ضریب نفوذ پذیری مایع، $cm^2.s^{-1}$ |
| | E: ثابت تعادلی |

حروف لاتین:

ρ : دانسیته مایع، $gr.cm^{-3}$

منابع و مواخذ:

- ۱) مسیح حسینی جناب، مظفر اسلامی "پایدار سازی معرفی کمپلکس کننده آهن برای حذف H_2S از گازهای ترش" تحقیق، فصلنامه پژوهشگاه صنعت نفت، سال پنجم، شماره ۱۸، پائیز ۱۳۷۴
- ۲) محمد رضا جعفری نصر، احمد توسلی، علی کریمی، حمید رضا بختیاری "مدل سازی راکتور حذف تک مرحله ای سولفید هیدروژن از جریان گازهای اسیدی در دمای پایین توسط محلول کیلات آهن" تحقیق، فصلنامه پژوهشگاه صنعت نفت، سال پنجم، شماره ۴، بهار ۱۳۸۰
- ۳) محمد رضا جعفری نصر، علی کریمی، احمد توسلی، حمید رضا بختیاری "مدل سازی و سینتیک فرآیند حذف تک مرحله ای سولفید هیدروژن توسط کیلات آهن در راکتور ایر لیفت" نشریه دانشکده مهندسی، امنشگاه فردوسی مشهد، سال ۱۴، شماره ۲، ۱۳۸۱
- 4) M. Y. Chisti, "Air – Lift Bioreactors." *Elsevier Science Publishing Co.*, 1st Edition, New Yourk, 1980.
- 5) J. C. Merchuk, G. Osenberg, M. siegel and M. Shacham, "A method for Evaluation of Mass Transfer Coefficient in the Different Reactor." *Chemical Engineering Science*, Vol. 47, No. 9-11, pp. 2221 – 2226, 1992.
- 6) M. Nakanoh, F. Yoshida, "Gas Absorption by Newtonian and Non Newtonian Liquids in a Bubble column." *Ind. Eng. Chem. Process Des. DeV.*, Vol. 19, pp. 190-195, 1980.
- 7) A. B. Russell, "Hydrodynamics and oxygen Transfer in a Pilot Scale Air Lift Fermenter." *Ph. D. Thesis, London University*, 1989.
- 8) H. J. Wabs and Antonie A. C. M. Beenackers, "Kinetics of H_2S Absorption in to Aqueous Ferric Solution of EDTA and HEDTA." *AIChE Journal*, Vol. 40, No. 3, PP. 433-443, 1994.

9) M. Nakanoh, M.Eng. Thesis, *Kyoto University*, 1976.

10) R. A. Bello, C. W. Robinson, and Moo-young., " Prediction of the Volumetric Mass Transfer Coefficient in Pneumatic Contactors." *Chem. Eng. Sci.*, Vol. 40, PP. 53-58, 1985.

جدول (۱): خواص فیزیکی سیال

| Liquid Phase | $D_L \cdot 10^5$ (cm ² /s) | ρ (gr/cm ³) | TDS (gr/lit) | Conductivity (ms/cm) | Salinity |
|---|--|---------------------------------|-----------------|-------------------------|----------|
| Water | 2.6 | 0.925 | 0.07 | 0.13 | 0.1 |
| EDTA Solution 500 ppm | 0.16 | 1.03 | 4.58 | 9.17 | 6 |
| EDTA Solution Slurry 0.08(wt%) Sulfur/100 ml solution | 0.17 | 1.11 | 4.46 | 8.94 | 6 |

جدول (۲): روابط تجربی ارائه شده توسط محققین [۱،۷]

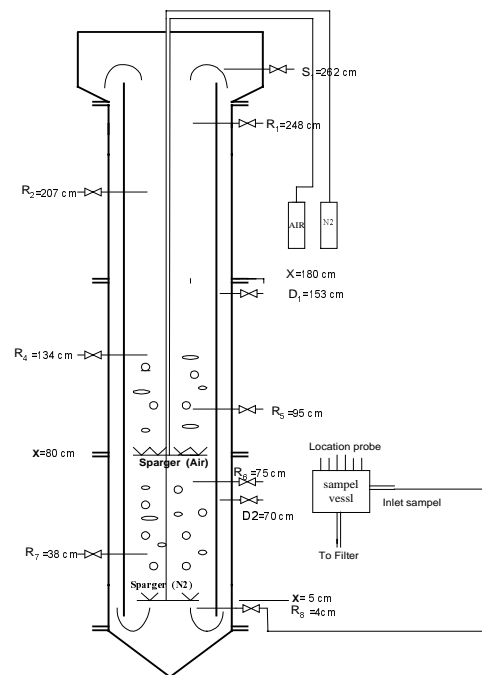
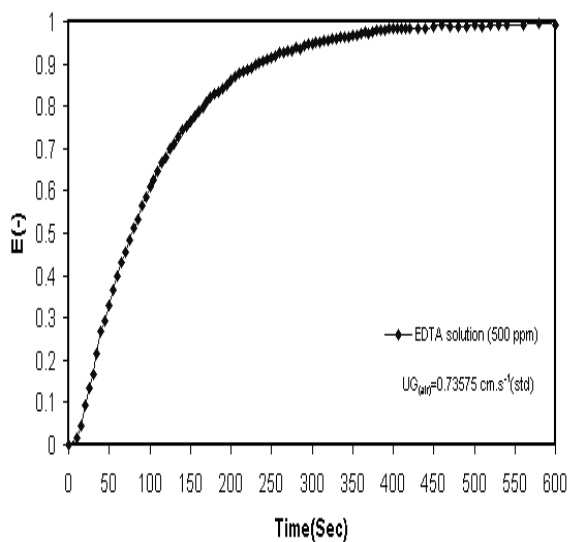
| Reactor Type Reference | Correlation | Parameter Range |
|--|--|---|
| External Loops Draught - tube Internal loops (annulus sparged) Bubble column Bello et al. 1985 | $K_L a = 0.79 [1 + A_d/A_r]^{-2} U_{G(\text{air})}^{0.8+0.1}$ | Air- water or aqueous salt solution 0.15 (kmol.m ⁻³) NaCl, H _d =1.8 m, D _r =0.152m U _G =(0.0137,0.086), m.s ⁻¹ (Bubble flow) A _d /A _r =0.11 to 0.069 (External Loops) A _d /A _r = 0.13, 0.35 and 0.56 (Internal loops) Bubble Column, A _d /A _r =0 |
| External Loops Chisti et al 1986 | $K_L a = [1 + A_d/A_r]^{-1} (0.349 - 0.102 C_s) U_{G(\text{air})}^{0.837+0.062}$ | Air- Slurry Solution at above conditions |

جدول (۳): روابط تجربی بدست آمده از آزمایشات در غیاب نیتروژن

| Reactor Type | Equation | Parameter - Range |
|----------------|---|---|
| Internal Loops | $K_L a = 0.05856 U_{G(\text{air})}^{0.8979}$ | Air- water, D _c or D _r = 0.145 m, H _r =2m U _G = 0.04 to 0.25, cm.s ⁻¹ (Bubble flow) A _d /A _r = 0.37455 (Internal Loop) |
| Internal Loops | $K_L a = 0.02985 U_{G(\text{air})}^{0.6239}$ | Air-EDTA Solution(500 ppm) at above condition |
| Internal Loops | $K_L a = 0.026787 U_{G(\text{air})}^{0.5514}$ | Air- Slurry Solution 0.08(wt%) Sulfur/100 solution at above condition |

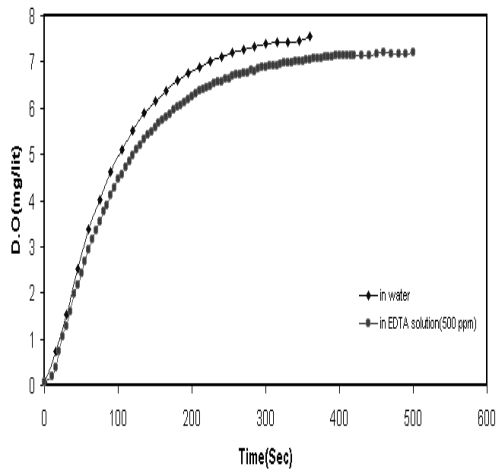
جدول (۴): روابط تجربی بدست آمده از آزمایشات در حضور نیتروژن

| Reactor Type | Equation | Parameter Range |
|----------------|--|--|
| Internal Loops | $K_L a = 0.3238 U_{G(N_2)}^{0.8819} \cdot U_{G(\text{air})}^{0.6767}$ | Air, N ₂ - Water, D _c or D _t =0.145 m, H _d =2.29 m U _{G(air)} = 0.04 to 0.25, cm.s ⁻¹ U _{G(N₂)} = 0.04 to 0.25, cm.s ⁻¹ (Bubble flow) A _d /A _r =0.37455 (Internal Loop) |
| Internal Loops | $K_L a = 0.09768 U_{G(N_2)}^{0.506} \cdot U_{G(\text{air})}^{0.49267}$ | Air, N ₂ - EDTA Solution (500 ppm) at above condition |
| Internal Loops | $K_L a = 0.109 U_{G(N_2)}^{0.4252} \cdot U_{G(\text{air})}^{0.5873}$ | Air, N ₂ - EDTA Slurry Solution 0.08(wt%) Sulfur/ 100 ml solution |

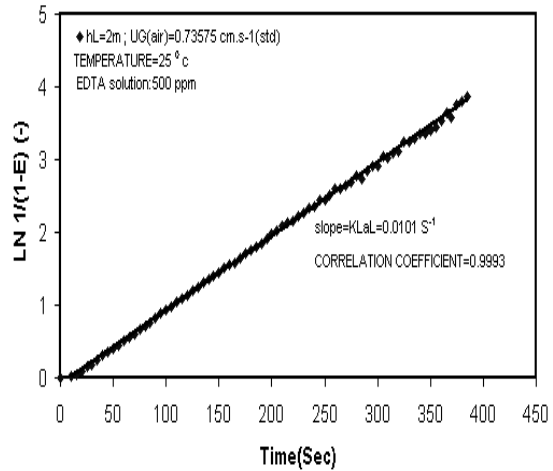


شکل (۱): نقشه Set up آزمایشگاهی

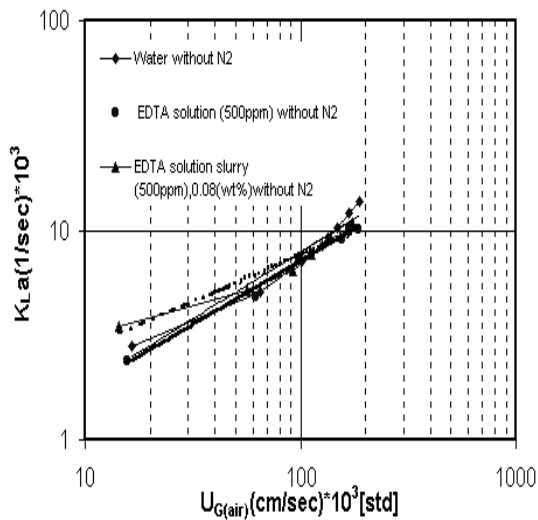
منحنی (۱): تغییرات (E) تعادلی با زمان مشابه با مراجع [۱،۲]
مشخصات این مراجع Water, U_G=0.062 m.s⁻¹, H_L=1.5 m



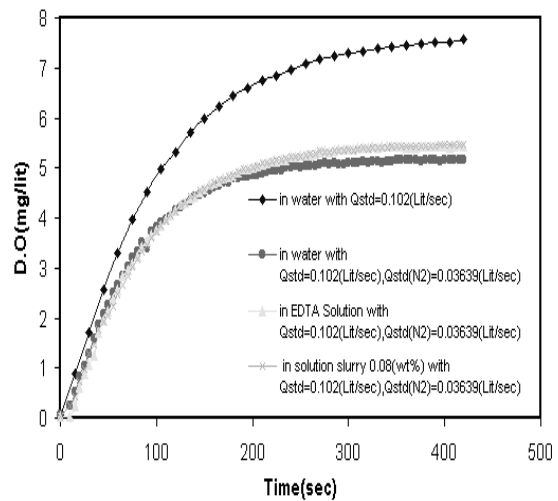
منحنی (۳): تغییرات اکسیژن حل شده با زمان برای آب مقطر و محلول



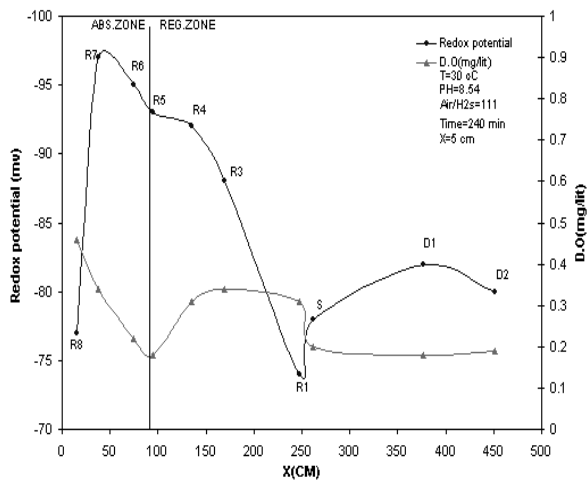
منحنی (۲): تغییرات $\ln(1/(1-E))$ با زمان مشابه با مراجع [۱،۲] مشخصات این مراجع $H_L=1.5 \text{ m}$, $U_G=0.03 \text{ m.s}^{-1}$, $T=20.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 0.15 M NaCl



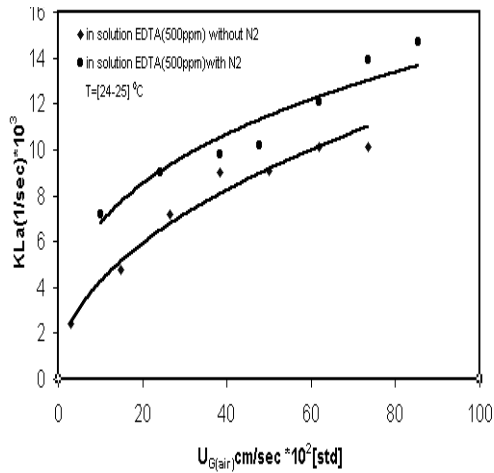
منحنی (۵): تغییرات لگاریتمی ضریب انتقال جرم با سرعت ظاهری گاز (هوا) برای آب مقطر و محلول کیلات آهن و محلول دوغابی مشابه با مراجع [۱،۴] مشخصات این مراجع 0.15 M NaCl , $1\% \text{ SF (Solka-Floc Cellulose fibre)}$



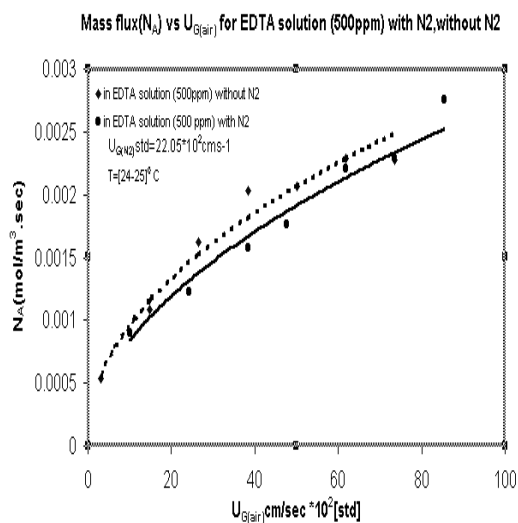
منحنی (۴): تغییرات اکسیژن حل شده با زمان در حضور نیتروژن وبدون نیتروژن برای آب مقطر و محلول کیلات آهن و محلول دوغابی



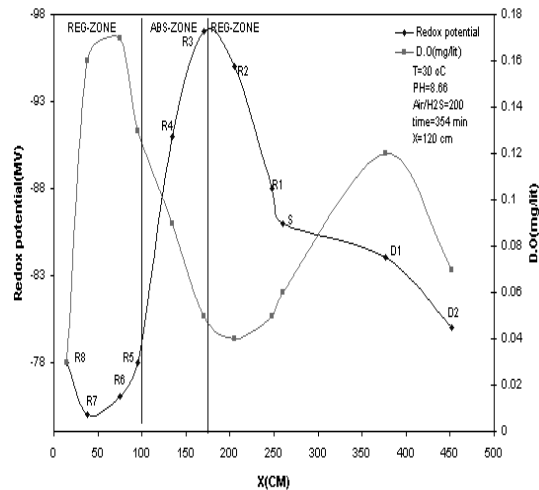
منحنی (۷): تغییرات میلی ولت و اکسیژن محلول در طول راکتور در حالت $X=0$ cm



منحنی (۶): تغییرات ضریب انتقال جرم با سرعت ظاهری گاز (هوا) در حضور نیتروژن و غیاب نیتروژن



منحنی (۹): تغییرات شار حجمی انتقال جرم با سرعت ظاهری گاز (هوا) در حضور نیتروژن و غیاب نیتروژن برای محلول کبالت آهن



منحنی (۸): تغییرات میلی ولت و اکسیژن محلول در طول راکتور در حالت $X=120$ cm

